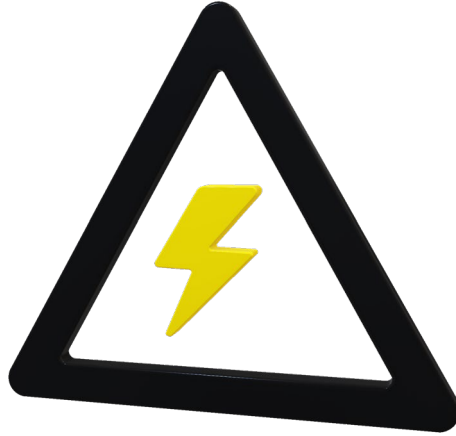




Electronics Course

Session No.1

2020

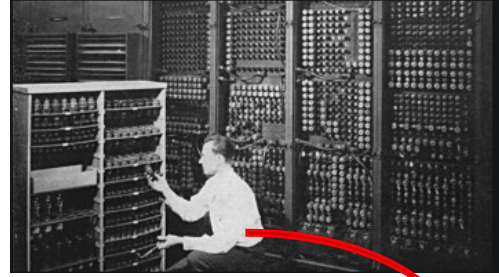
شرح

Eng. Mohamed Numair

www.MohamedNumair.cf

مقدمة Introduction

هل تعلم ان انت دلوقتي بتعيش حياه مرفهة أكثر من قيصر روما في زمانه !!
وفي ايديك معلومات أكثر من اللي كانت عند ارشميدس واقليدس مجتمعين !!



ليه ؟! عشان التقدم التكنولوجي اللي وصلناله بقى عندك رفاهية ان مهما كان الجو
تقدر تقعد في تكييف، ولما تسافر تركب عربية مرفهة، ولو حبيت توصل لاي
معلومة في العالم كله هتطلع موبايلك اللي فيه إمكانيات مكنش في كمبيوترات
ناسا لما بدأت تبعت ناس للفضاء، كمية التقدم والراحة والرفاهية اللي انت فيها
اقدر اقولك ان لولا الكورس ده (الالكترونكس) وبالذات اكتشاف (أشباه الموصلات)
كنت هتفضل تبعت جوابات لما تعوز تظمن على حد، او تقعد تسهر أيام تبحت في
المكتبات العامة على معلومة دلوقتي ممكن تجيبها ف ثانيه من الموبايل على جوجل.



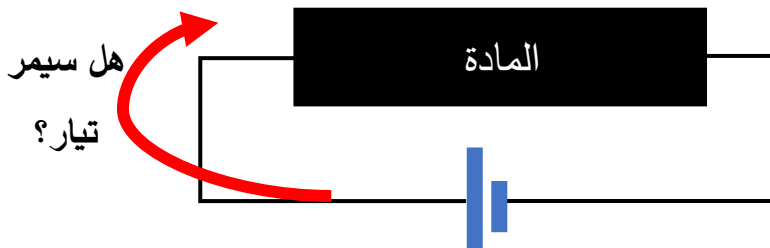
دلوقتي عرفنا أهمية المادة دي، و قد ايه تطبيقاتها موجوده حوالينا عاوزين نفهمها كويس
والكورس ده هيحطك في الطريق الصح وانت واثق انك فاهم كل معلومة بالشكل الكافي.

عشان كده هنبداً من أبسط تكوين للمادة ، الذرة لحد ما توصل في آخر الكورس للتطبيقات اللي ذكرناها

التوصيلية Conductivity

بالمنطق كده المواد يمكن تصنيفها حسب توصيليتها الكهربائية إلى (غير موصلة insulator أو موصلة
conducting) يعني لو جربنا نسلط عليها جهد ولقينا في تيار مر من خلالها تبقى موصلة (زي النحاس) ،
ولو سلطنا جهد ولم يمر تيار إذاً هي غير موصلة (زي الزجاج) .

لكن في تصنيف مهم جداً في الكورس ده وهو (أشباه الموصلات) ، يعني دي بتوصل ولا مبتوصلش !
الصرحة ! هي ممكن توصل في ظروف معينه و متوصلش في ظروف ثانيه و عشان اقدر اجابو على سؤالك
هي بتوصل تيار ولا مبتوصلش لازم نفهم يعني ايه تيار ؟ و ليه لما هنسلط جهد على موصل تيار بيمر ولما
نسلطه على غير موصل التيار لا يمر .



التيار الكهربى Electric Current

هو تدفق من الشحنات الكهربائية كالإلكترونات. طبقاً للنظام الدولي للوحدات فإن شدة التيار الكهربى تقاس بـ
الأمبير

يعني من التعريف السر فى وجود التيار الكهربى، هو وجود الإلكترونات حرة تتحرك من طرف موصل إلى الطرف الآخر!

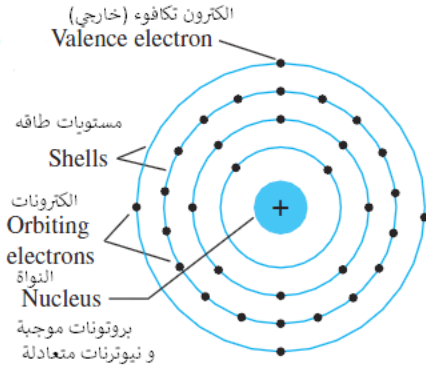
إذن **الموصلات Conductors** ، تحتوي على وفرة من **الإلكترونات الحرة free electrons** عند تسليط الجهد فيسبب ذلك مرور التيار و **غير الموصلات** معندهاش الإلكترونات حرة كافية لمرور التيار خلالها.

انتبه !! كل المواد يوجد فى ذراتها الإلكترونات! لكن المسئول على مرور التيار هو الإلكترونات حرة!

يعني فى الإلكترونات حرة و الإلكترونات محبوسة يعني؟!

أها، وعشان تصدقنى و نجاب على سؤالك الأول بتاع اشباه الموصلات بتوصل ولا مبتوصلش لازم نبص على شكل أى ذرة

أ الذرة Atom Structure



هنلاحظ انها بتتكون من

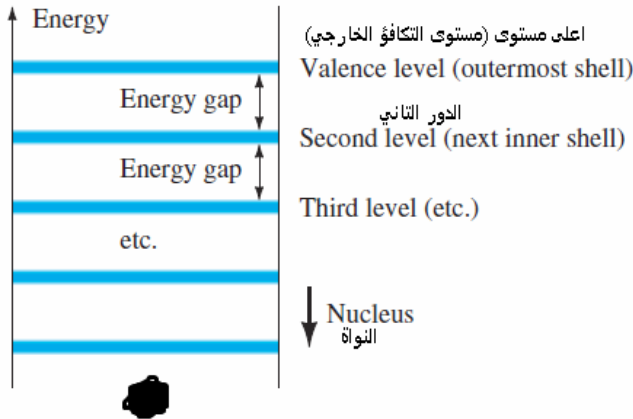
نواة : (بروتونات موجبة و نيوترونات متعادلة)

والإلكترونات : فى المدارات الخارجية (اسمها مدارات الطاقة)

١.١ مدارات الطاقة - الحياة الطبقة بتاع الالكترونات - Energy Levels

١.١.١ أولاً: أي ذرة ليها عدد من مستويات الطاقة Energy Levels واللي كنا بنسميها K,L,M,N وبتتوزع الالكترونات في المستوى الأول ٢ و الثاني ٨ و الثالث ٨ او ١٨ وهكذا ..

١.١.٢ ثانياً: ممكن تفكر في مستويات الطاقة دي زي الحياة الطبقة في عمارة مثلاً حيث ان الأقرب للذرة دي اسوء دور وبيكون الالكترون محبوس فيها و كل ما الالكترون يكتسب طاقه بيطلع لفوق والحياة بتتحسن لحد ما توصل للمتسوى الخارجي واللي بنسميه مستوى التكافؤ Valence Level واللي بعده الالكترون لو اكتسب طاقه كمان بيقدر يكون حر!



لكن الانتقال هنا ليس مجاني !!

لازم الالكترون عشان ينتقل من مستوى إلى مستوى يكتسب طاقة تساوي ال Energy Gap عشان ينتقل من مستوى للمستوى اللي فوقه

ملحوظة: الالكترون ممنوع يقف في النص بين أي مستويين، هو اما يكتسب طاقه كافيه للمستوى الي

فوقه اما يفضل مكانه. عشان كده المنطقه الي ف النص دي بنسميها المنطقه الممنوعه Forbidden Band

١.١.٣ ثالثاً: الكترونات مستوى التكافؤ Valence Electrons هي اعلى الكترونات في الذرة و بكده لو اكتسبت طاقه اسمها Bandgap Energy كمان هتصبح (الالكترونات حرة) في منطقة التوصيل والمادة توصل التيار. و بكده المواد يمكن تصنيفها ل ٣ أنواع من المواد حسب توصيليتها

غير موصلة insulator	شبه موصلة Semiconductor	المادة الموصلة Conductor
Insulator	Semiconductor	Conductor
المنطقتين متباعدتان تماماً وتحتاج قد كبير جدا من الطاقة حتى تتحرر الكترونات التكافؤ	المنطقتين متباعدتان (لذا الكترونات التكافؤ تحتاج قدر من الطاقة E_g لكي تتحرر)	المنطقتين تقريبا متلاصقتان (اقل طاقه يمكن لها ان تجعل الالكترون حر)

$E_g \uparrow \uparrow \text{ large}$ $\text{Diamond} : E_g = 2.5 \text{ eV}$	$Ge : E_g = 0.67 \text{ eV}$ $Si : E_g = 1.12 \text{ eV}$ $GaAs : E_g = 1.43 \text{ eV}$	$E_g \downarrow \downarrow \text{ very small}$
--	--	--

الالكترون فولت eV

هو الشغل المطلوب لنقل شحنة ١ الكترون بين فرق جهد ١ فولت

$$W = QV = (1.6 \times 10^{-19} C)(1V)$$

التكافؤ

الذرة عشان تستقر عاوزه في الاطار الخارجي ٨ الكترونات

Valence Electronics التكافؤ الكترونات

هي الكترونات المستوى الخارجي للذرة، وعددها يحدد تصرف المادة (دايما تصرف المادة ان يتبقى في المستوى الخارجي ٨ الكترونات فقط)

من ١ - ٣: مستعدة تتخلى عن الالكترونات التكافؤ عشان تستقر (ويتفضل المستوى الأخير فيه ٨ الكترونات)

عددها ٤: دي بقى لا مستعدة تتخلى عن ال ٤ الكترونات دول ولا تكتسب عليهم ٤ بتدخل في روابط تساهمية

من ٥ - ٧: مستعدة تكتسب الكترونات عشان تكمل المستوى الأخير فيه ٨ الكترونات

وعدها هو اللي بيحدد تكافؤ المادة (ثنائية II - ثلاثية III - رباعية IV - خماسية V)

وده جدول بيوضح بعد العناصر في الجدول الدوري وتكافؤها فوق

	III	IV	V	
	Boron (B)	Carbon (C)		
• • •	Aluminum (Al)	Silicon (Si)	Phosphorous (P)	• • •
	Galium (Ga)	Germanium (Ge)	Arsenic (As)	
		• • •		

سؤال : استخراج العناصر شبه الموصلة من الجدول ده

لحل المسألة - نكتسب - نكتسب - نكتسب : ينظر

العناصر رباعية التكافؤ دي زي السيليكون - طالما مش هتفقد او تكتسب الكترون (يعني مش هترتبط في روابط ايونية)

بترتبط بروابط تساهمية Covalnt Bond

الروابط التساهمية Covalent Bonds

هي رابطة بين ذرات مجموع تكافؤها يساوي ٨ .

يعني مثلا ذرة اكسجين (عندها في المستوى الأخير ٦ الكترونات) ونفسها يبقى عندها ٨

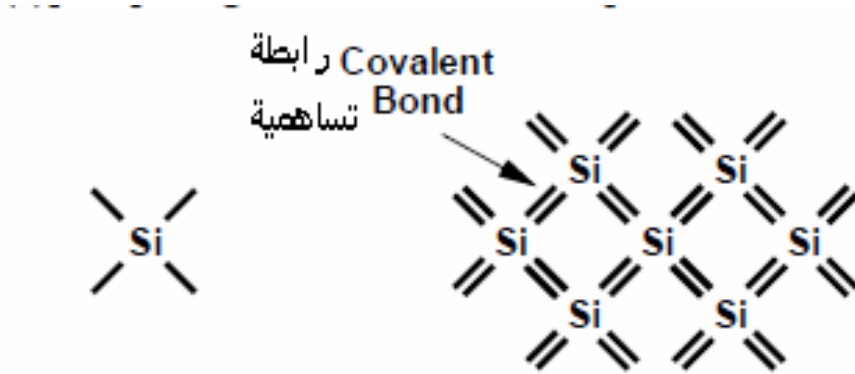
وذرة الهيدروجين (عندها في المستوى الأخير ١ الكترون) ونفسها يبقى عندها ٨

فكرة الاكسجين نقول لذرتين نخط ايدنا ف ايد بعض انتو تدخلو بالالكترونين اللي معاكم وانا ادخل بال ٦ ويبقى كل واحد فينا عنده برا ٨ الكترونات ونستقر كلنا .

نفس الموضوع بتعمله الذرات رباعية التكافؤ

ذرة سيليكون عندها برا ٤ الكترونات بتروح لذرة سيليكون تانيه وتقولها ما نخط ال ٤ بتوعي على ال ٤ بتوعك ويبقى عندنا ٨ برا ونستقر كلنا !

فمثلاً ذرة السيليكون عندها ٤ الكترونات



ذرة سيليكون وحدانيه مش مستقرة
حواليها ٤ الكترونات بس
(هنرسم الالكترن شرطه معلش)

ذرات سيليكون مرتبطين ببعض بروابط تساهمية Covalent Bonds
مستقرين كل واحد حوالها ٨ الكترونات
عاملين كريستاله سيليكون نقيه

السيليكون النقي Intrinsic Silicon

Silicon Crystal

intrinsic Silicon

هي عبارة عن ذرات السيليكون مرتبطة مع بعض بروابط تساهمية، وتكون كريستاله نقيه (سيليكون فقط) أي خالية من الشوائب (أي عناصر أخرى) ويمكن تسميتها intrinsic Silicon للتعبير على انها لا تحتوي على أي شوائب.



وعند درجة حراره صفر كلفن (الصفر المطلق) لا تحتوي على أي الكترونات حرة !

١.٢ تحرير الالكترونات Freeing Electrons

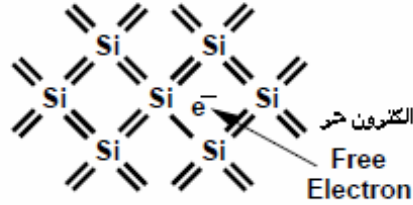
الروابط التساهمية تكون كل الالكترونات في المستوى التكافؤ Valence Band و عشان الالكترن ينقل من مستوى التكافؤ ويتحرر الى ال Conduction Band كان بيحتاج أي؟؟؟؟؟

1.1 eV وهي السيلكون يسلمون للسلبي و هي E_g تسلمون طاقه سيستعمل انه بيحتاج : 2×10^{19} الأخرى

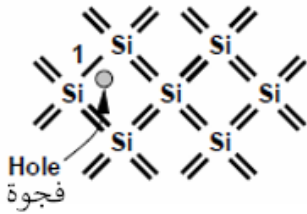
أيون ، وعشان يستقبل الطاقة دي بقدر اديهاله في صورة طاقة حراريه thermal energy

مما يعني ان كريستاله السيليكون عند درجه حراره صفر كلفن يكون عدد الالكترونات الحرة صفر !

لكن عند التسخين يبدأ عدد الالكترونات الحرة يزيد.

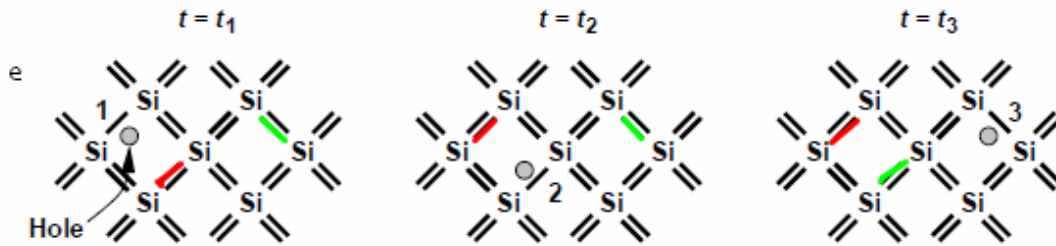


١.٣ الفجوات Holes



عندما يتحرر الكترون من مكانه فانه سوف يترك مكانه رابطته مكسورة (فجوة) hole وهي تعني عدم وجود الكترون في الرابطه ولكن بمجرد وجود الكترون حر آخر فانه يحدث recombination اتحاد بين الالكترون الحر والفجوة ليعود الالكترون مكانه في الرابطه.

دلوكتي تخيبيبييل معايا القصة دي عند اللحظات t1 و t2 و t3



1	2	3
الالكترون اتحرر وساب مكانه فجوه Hole	دلوكتي في الكترون راح من اليمين للشمال وملى الفجوة دي فاصبح المكان اللي هو سابه فجوة	الموضوع اكرر ثاني و في الالكترون راح من اليمين للشمال وملى الفجوة اللي ف النص دي بس اصبحت مكانه هو فجوة

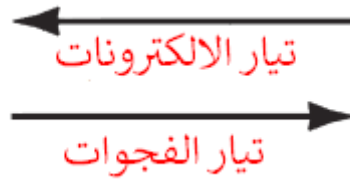
لو قولتلك بعينك تتبع الفجوة بتتحرك من فين لفين ؟ هتلاقي ان :

الفجوات بتتحرك من الشمال لليمين

بينما الالكترونات كانت بتتحرك من اليمين للشمال

الفرق في الاتجاهات ده بيخلينا نقدر نقول ان في

تيار الالكترونات electrons current و تيار فجوات holes current و الاتنين عكس بعض



بل وان في السليكون النقي in intrinsic silicon

عدد الالكترونات الحرة = عدد الفجوات

وده منطقي لان كل الكترون بيسيب مكانه فجوة

يبقى عدد الالكترونات (بعد كده لما أقول الكترونات اقصد الكترونات حرة) و عدد الفجوات اقدر ارمزلهم

في السليكون النقي

$n_i = n$ <i>i : stand for intrinsic</i>	عدد الالكترونات
p	عدد الفجوات
$n = p$	

طاقة التحرر Bandgap Energy وعدد الالكترونات في السيليكون النقي n_i

احنا من كلامنا قبل كده عرفنا انه لا يوجد الالكترونات حرة في السيليكون النقي عند الصفر المطلق وبتزيادة درجة الحرارة بيتبدي الالكترونات تكتسب من الطاقة الحرارية المضافه طاقه تساوي Bandgap Energy $E_g = 1.12 \text{ eV}$ - مما يسبب تحرر الالكترونات وزياده عدد الالكترونات الحرة في السيليكون النقي

١.٤ حساب عدد الالكترونات الحرة في السيليكون النقي number of free electronics in intrinsic silicon

تذكر: الالكترونات الحرة دي هي المسئولة عن التوصيلية الكهربائية، فلو طلع عدد كبير ممكن توصل ؟ ولو عدد صغير يبقى مش هتوصل .

دلوقت لو حبين نعرف عدد الالكترونات الحرة ، ممكن نتوقع انها هتتبع على درجة الحرارة T يعني لو زادت درجة الحرارة هتزيد عدد الالكترونات المتحررة

$$n_i \propto T$$

و أيضا هتتبع على كميته الطاقه المطلوبه لتحرير الالكترون (Bandgap Energy (E_g) كل ما زادت كل ما عدد الالكترونات المتحرره هيكون اقل (لان مش كل الالكترونات هيوصلها كميته كافيه من الطاقه تساوي E_g)

$$n_i \propto E_g$$

وبالمعلومات دي قدر العلماء يوصلوا لمعادلة لتحديد عدد الالكترونات الحرة في السيليكون

في المستقبل بعد كده لما أقول عدد الالكترونات $n_i = n$ او الفجوات p يبقى بكم عن كثافتهم او عدد الالكترونات او الفجوات في السيليكون

$$n_i = 5.2 \times 10^{15} T^{\frac{3}{2}} e^{\frac{-E_g}{2kT}}$$

حيث أن

T	Temperature (Kelvin) ($^{\circ}K$)	
k	Boltzmann constant	$k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
E_g	Bandgap Energy	

حل مثال رقم ١

هناقي ان عدد الالكترونات الحرة في السيليكون عند

$n_i = 1.08 \times 10^{10} \text{ electrons/cm}^3$	@ $T = 300^{\circ}K$
$n_i = 1.54 \times 10^{15} \text{ electrons/cm}^3$	@ $T = 600^{\circ}K$

طب دلوقتي عاوز اعرف الرقم ده صغير ولا كبير عشان اعرف كده الماده في الكترونات في السم^٣ كافية انها توصل التيار الكهربى ولا لا

عشان تعرف فكره هو صغير ولا كبير الحل انك تقارنه بعدد ذرات السيليكون في السم^٣ واللى بتساوي

$$Si \text{ atoms number in } cm^3 = 5 \times 10^{22} \text{ atoms/cm}^3$$

من الرقم ده نلاحظ ان فعلاً عدد الالكترونات رقم صغير جداً بالنسبه لعدد الذرات وعشان كده منقدرش نقول على السيليكون ماده موصله، انما هي ماده شبه موصله.

Question : at room temperature number of electrons density in intrinsic silicon was $n_i = 1.08 \times 10^{10} \text{ electrons/cm}^3$ find the number of holes density

For intrinsic silicon $n = p = n_i$

So number of holes density $p = n_i = 1.08 \times 10^{10} \text{ electrons/cm}^3$

Modification of Carrier Densities

تعديل كثافة الشحنات (الالكترونات - الفجوات)

دلوقتي عرفنا ان عدد الالكترونات الحرة في السيليكون عند درجة حرارة الغرفة، رقم صغير ميوصلش التيار، طيب اعمل ايه عشان ازود الرقم ده؟

هل تعلم ان لو زودت عدد الالكترونات الحرة المادة ممكن توصل التيار (تيار الالكترونات)

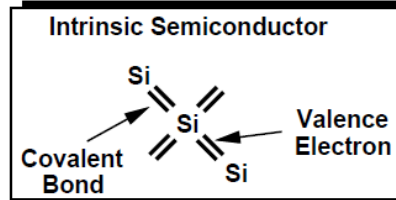
وأيضاً، لو زودت عدد الفجوات المادة ممكن توصل التيار (تيار الفجوات)

ولذلك لزيادة توصيلية المادة شبه الموصلة النقية intrinsic نقوم بعمل عملية تطعيم doping بماده خماسية التكافؤ (لزيادة عدد الالكترونات) او ثلاثية التكافؤ (لزيادة عدد الفجوات) وتصبح غير نقيه extrinsic

ايه التطعيم والكلام الكبير ده، ببساطة تعالى نكلم على السيليكون ...

١.٥ السيليكون النقي intrinsic silicon

السيليكون النقي بكون روابط تساهمية بين ذرات سيليكون ومبيكونش في أي الكترونات حرة.



$$n = n_i = p$$
$$\therefore np = n_i^2$$

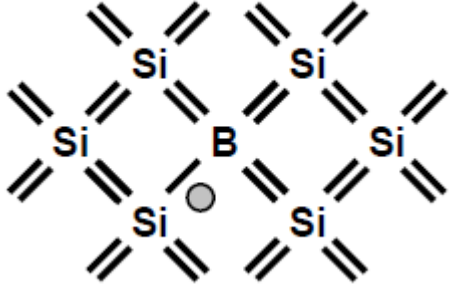
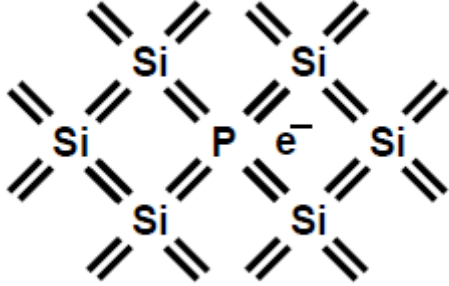
١.٦ السيليكون المطعم extrinsic silicon

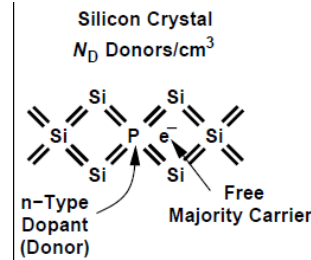
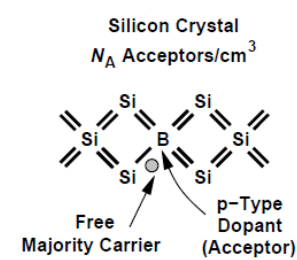
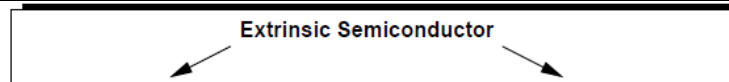
هو سيليكون غير نقي أي مطعم بمواد أخرى (شوائب) impurity

سواء كان السيليكون نقي intrinsic او غير نقي extrinsic

يوجد علاقه بين عدد الالكترونات الحرة و الفجوات و عدد الالكترونات الحرة في النقي

$$n * p = n_i^2$$

او لو عاوزين نزود فجوة لو ضفنا عنصر عنده ٣ الكترونات في مستوى الطاقة الخارجي زي البورون B هيعمل روابط تساهمية مع السيليكون ولكن ناقصة الكترون (يعني مع فجوة)	وعشان نزود الكترون لو ضفنا عنصر عنده ٥ الكترونات في مستوى الطاقة الخارجي زي الفوسفور P هيعمل روابط تساهمية بس يفضل ١ الكترون حر
	
تكون موجبه الشحنة positive	تكون سالبه الشحنة negative
p-type	n-type
عدد الفجوات يساوي عدد ذرات البورون المضافة (المستقبله للالكترونات) Acceptor Number $p = N_A$	عدد الالكترونات الحرة يساوي عدد ذرات الفوسفور المضافة (المتبرع بالالكترونات) Donor Number $n = N_D$
(لان عدد الذرات المضافه اكبر بكثير من الفجوات اللي كانت موجوده في الأصل)	(لان عدد الذرات المضافه اكبر بكثير من الالكترونات اللي كانت موجوده في الأصل)
عدد الالكترونات من القانون $np = n_i^2$ $n = \frac{n_i^2}{p} = \frac{n_i^2}{N_A}$	عدد الفجوات من القانون $np = n_i^2$ $p = \frac{n_i^2}{n} = \frac{n_i^2}{N_D}$
Majority Carriers: holes Minority Carriers: electrons $p > n$	Majority Carriers: electrons Minority Carriers: holes $n > p$



ملحوظة

- عدد الذرات المضافة من الفوسفور المفروض نقول $n = N_D + n_{\text{free}}$ ولكن لان عدد ذرات الفوسفور بتكون بكثافات عاليه $10^{15} - 10^{18}$ فيمكن اهمال الالكترونات اللي كانت موجوده ونقول $n = N_D$ كذلك $p = N_A$

لماذا يمكن تطبيق قانون $np = n_i^2$ في السيليكون النقي: ببساطه لان $n = p = n_i$ فاكد حاصل الضرب $np = n_i n_i = n_i^2$

السيليكون المطعم: هنا يمكن أيضا تطبيق القانون رغم زيادة n عن p في ال n-type وزيادة p عن n في ال p-type وذلك لانه $np = n_i^2$

تدل انه بزيادة عدد الالكترونات الحرة تقل عدد الفجوات، وهذا منطقي لان الالكترونات تستقر في الفجوات فيما يسمى recombination

وزياده عدد الفجوات يقل عدد الالكترونات الحرة، وذلك لنفس السبب

نظام الشرح في ملازم م-محمد نمير

لكل درس (ممكن يكون شابتير او جزء من شابتير) يوجد

١- ملزمه شرح مفصل (اللي هي دي)

٢- ملزمة مسائل (فيها امثله الكتاب ومسائل الشيت محلولين وبعض مسائل الامتحانات في الجزء ده)

٣- ملزمة ملخص الدرس (لان أيام الامتحانات هتحتاج حاجه ملخصه مش هتقرى الشرح من اول وجديد)

وبرضه مراجعات وقوانين قريباً!!!!!!

اطلبها في TARGET